



北京 2022 年 冬 奥 会 官 方 合 作 伙 伴

中国联通 6G 白皮书 (V1.0)

中国联合网络通信有限公司研究院

2021 年 3 月

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

目录

1. 移动信息网络发展趋势.....	1
1.1. 全球态势.....	1
1.2. 业务需求.....	2
1.3. 技术驱动.....	3
1.4. 商业模式.....	3
2. 6G 业务发展趋势及愿景.....	6
2.1. 业务发展趋势.....	6
2.1.1. 6G 联通新生活.....	6
2.1.2. 6G 联通新生产.....	6
2.1.3. 6G 联通新世界.....	7
2.2. 6G 网络典型应用场景.....	8
2.2.1. 感知互联网.....	8
2.2.2. 智慧车联网.....	8
2.2.3. 工业互联网.....	9
2.2.4. 空天车联网.....	10
2.2.5. 全息通信.....	10
2.3. 6G 愿景.....	11
3. 6G 网络特征.....	14
3.1. 全域融合.....	14
3.2. 极致连接.....	14
3.3. 弹性开放.....	15
3.4. 智能原生.....	15
3.5. 数字孪生.....	16
3.6. 绿色共享.....	16
3.7. 算网一体.....	17
3.8. 安全可信.....	17
4. 6G 网络能力指标体系.....	19
5. 6G 候选技术分析.....	22

5.1. 6G 技术发展趋势.....	22
5.2. 6G 无线使能技术.....	22
5.2.1. 高频通信.....	22
5.2.2. 智能超表面.....	24
5.2.3. 轨道角动量多址技术.....	25
5.2.4. 空天地一体化.....	26
5.2.5. 基于服务的无线网络.....	27
5.2.6. 无线 AI.....	28
5.3. 6G 网络使能技术.....	29
5.3.1. 数字孪生.....	29
5.3.2. 区块链.....	30
5.3.3. 确定性网络.....	31
5.3.4. 分布式异构网络.....	32
6. 结束语.....	34
附录：缩略语.....	35
致谢.....	36

版权声明

本白皮书版权由中国联合网络通信有限公司研究院所有，并受法律保护。转载、编摘或利用其他方式使用本白皮书文字或者观点的，应注明来源。

作者

中国联合网络通信有限公司研究院



1. 移动信息网络发展趋势

1.1. 全球态势

5G 商用化进程启动一年后，5G 发展速度远超 3G、4G 同期。截止到 2020 年底，全球部署的 5G 商用网络超过 100 张，用户数超过 2 亿。第 2 版 5G 国际标准（3GPP Rel-16）已于 2020 年 6 月冻结，该 5G 标准化版本聚焦基础功能增强、新特性引入、垂直行业扩展三大方向，核心是为垂直行业赋能。当前通信运营商和设备商也在努力推动行业应用与网络部署，5G 智能制造、智能矿山、智能医疗等行业标杆应用不断涌现，推动 5G 赋能千行百业。从 2019 年到 2020 年，随着全球 5G 商用化进程的加快，全球多区域国家和组织已陆续启动 6G 研究计划，并开始逐步加大投入和支持力度。

美国政府高度重视 6G 技术发展，在资金投入和政策方法大力支持 6G 技术研发，在太赫兹和卫星互联网技术方面遥遥领先。2019 年 3 月，美国联邦通信委员会（FCC）宣布开放用于太赫兹试验频谱（95GHz~3THz）；2020 年 10 月，美国电信行业协会发起并成立 6G 联盟；截止到 2021 年 1 月底，美国太空探索技术公司（SpaceX）的“星链”（Starlink）卫星已达到 1000 多颗，卫星互联网服务的试用速度已突破 160Mbps，超过美国 95% 的宽带连接。

欧洲 6G 研究初期以各大学和研究机构为主体，积极组织全球各区域研究机构共同参与 6G 技术研究探讨。2019 年 3 月，芬兰奥卢大学 6G 旗舰组织邀请 70 位来自各国的通信专家，召开了全球首届 6G 峰会，共同探讨下一代通信技术驱动因素、研究挑战和未来愿景，并发布了全球首份 6G 白皮书；2020 年 3 月召开第 2 届 6G 峰会，发布了 12 个 6G 相关议题，其中多个议题已发布相关白皮书；2020 年 12 月，诺基亚宣布将牵头开展“Hexa-X”项目，目标是引领下一代无线网络发展。

日本通过官民合作制定 2030 年“Beyond 5G”综合战略，投入千亿日元用于 6G 技术研发。日本在太赫兹等各项电子通信材料领域全球领先优势明显；2020 年 12 月，日本内务和通信部和日本信息通信研究所（NICT）合作开设“Beyond

5G 新经营战略中心”，协同产、学、官各方力量，致力于知识产权的获取和标准化工作。

韩国以大型企业为主导开展 6G 研究。2019 年 1 月，LG 与韩国高级科学技术学院 KAIST 合作建立 6G 研究中心；2019 年 6 月，三星成立高级通讯研究中心，开始对 6G 网络进行研究；2020 年 7 月，三星发布 6G 愿景白皮书。

全球来看，2019 是各国纷纷正式启动 6G 研究的一年，2020 年是全球纷纷加大政策支持和资金投入力度用以加快推动 6G 研究的一年。6G 研究处于起步阶段，整体技术路线目前尚不明确。目前业界对于未来 6G 的底层候选技术、网络特征和目标愿景都处于热烈的自由探讨中，未来三年 6G 研究的讨论也会聚焦在 6G 业务需求、应用愿景与底层无线技术方向。此外，高应用潜力和高价值关键使能技术的核心专利预先布局，研发生态构建也是目前 6G 研究的工作重点。可以预见，未来五到十年，6G 技术话语权的竞争势将激烈。

1.2. 业务需求

随着 5G 网络建设的逐步加速，其对社会和生产所带来的改变将逐步明朗。但用户的需求不断演进，更优质的业务体验，更多垂直行业业务的拓展，都将驱动移动通信网络不断向前发展。

从 2C 角度来看，未来业务需要对消费者的社会活动和生活体验带来更深层次的变化，包括无人驾驶、全息、用于健康监测的新型穿戴、虚拟互动等新型业务全面落地；更具情境感知的体验增强，视觉、温度、气温及动作感知融入到日常应用，使用户得到无感知的安全保障；数字货币、家庭机器人等社会演进带来的业务升级等等。

从 2B 角度来看，5G 设计的三大场景已经开始赋能垂直行业，带来低时延、高连接性及大带宽的网络特性。但伴随着垂直行业不断数字化升级，新型业务场景将持续涌现，如仓储物流的大规模机器人、无人机的使用，工业界数字孪生、全息图、确定性控制等极致网络连接需求，都将会给现有网络技术带来挑战。因此，行业应用及业务需求将推动移动通信网络持续向下一代演进，使得网络性能

不断升级、优化和演进，具备更广维度的极致网络能力。

1.3. 技术驱动

现阶段对未来网络愿景的美好展望会促使从业者不断思考哪些技术的应用可以使能和实现预期目标，多种跨领域新技术的不断引入又会催生对下一代网络愿景的新期待，并不断丰富未来网络相关技术的范畴，促进多种技术的融合。两者互相促进相辅相成，不断推动移动通信网络向前演进。

从网络侧角度看，IT 与 CT 技术不断融合，促使服务化、云原生、AI 等创新技术应用移动网络。同时，随着区块链、数字孪生等新型技术的出现与不断发展，其优势可以给移动网带来更多维度的性能提升。计算领域多芯粒技术，高速互联技术等大大促进计算能力的提升，使得移动网处理更大计算量更复杂的业务成为可能。此外，其它网络技术体系比如工业互联网、确定性网络、卫星网络的普及和技术突破，也将带给移动网不断融合演进的动力。

从空口侧角度看，凭借丰富频率资源可用于提供极致速率连接的高频通信技术，将地面无线移动通信扩展至空天地一体化融合网络通信技术，实现对无线传播信道的主动智能调控，构建 6G 无线环境智能可编程新范式的智能超表面技术，可以大幅提升通信系统传输容量和网络频谱效率的轨道角动量技术等，都是下一代空口技术的高潜力使能技术。

从终端侧角度看，新型材料、天线、传感器及电池制造技术不断成熟，推动终端不断向微型化、小型化、绿色安全和更大容量方向演进，促使移动终端带来全新能力和形态，使得新型可穿戴甚至是植入式终端设备成为可能。结合全息成像类技术和终端屏显技术的革新，推动新型全息类、沉浸式 XR 类移动业务、人体域感知通信应用成为可能，推动移动业务及移动网络的不断向前演进。

1.4. 商业模式

从商业模式角度看，2G 时代移动通信网络是基础连接服务模式，2G 网络仅支持语音与短信服务，运营商通过为消费者提供语音、短信连接服务获得收益，

话务量、短信量是收费标准。

3G、4G 时代主要是流量价值经营模式：3G 网络初步提供数据通信功能，4G 网络带宽的进一步提升使得数据进一步替代语音成为业务主流，并催生移动端视频业务兴起，“流量+视频”价值双绞，运营商、OTT、消费者三者逐步融合，多边合作初现端倪，流量经营成为发展关键，语音、短信、流量三者并存，在按量收费的同时，“内容流量付费”也成为重要选项。

5G 网络极大拓展了应用场景逐步扩张，服务对象涵盖人与物，网络成为打通人际交互、人机交互、机器互联的强大媒介，商业模式逐步分化为 2C 与 2B 两种。5G 时代 2C 模式特点依旧，除传统付费模式外，带宽/上网速率正在被通信运营商纳入收费量纲内；2B 模式的服务对象主要是物/机器，企业客户对于带宽、时延、可靠性、连接量、安全/私密性等网络质量要求更高，5G 网络拥有的切片、专网能力成为满足用户需求差异化需求的新产品形态，NaaS（网络即服务）模式逐步正在成为通信运营商面向 2B 市场的主要服务模式。此外，由于行业用户需求的多样化、个性化，运营商正在逐步构建包含云商、设备商、垂直行业解决方案专家等的多边合作生态，最大化释放 5G 网络能力。

整体来看，移动通信网络从 2G 到 3G 打破了传统单一语音的服务模式，从 3G 到 4G 数据代替语音成为业务主流，从 4G 到 5G 则将服务从人拓展至千行百业，使移动通信网络跃迁成为生产利器。目前 6G 技术尚未成熟，对于未来商业模式的展望探讨有助于促使未来网络潜能的充分发掘。展望下一代网络通信，空天地海全维度自然空间融合网络体系以及海量的感知数据不仅将彻底改变人类对世界的认知，也将彻底改变我们的经济和社会生活，催生新的商业模式。

首先是基于产品的商业模式。面向个人和家庭用户，未来网络除提供传统的流量+体验+连接+新形态的产品外，还将增加太比特级（Tbps）峰值速率、吉比特级（Gbps）用户体验速率、接近有线传输可靠性等元素在内的新型产品，满足用户对网络的多元化和个性化需求；面向行业用户，将按需调整网络布局，实现产品形态的场景化，结合高吞吐量、超低时延抖动、超高安全、立体覆盖、超高定位精度等特性，为用户提供保障行业需求的弹性服务。

其次是基于服务的商业模式。物之间、万物与人类之间，皆可通过 6G 网络

实现信息连接，形成海量数据。数据应用服务将迎来前所未有的行业机遇，数据驱动型企业也将成为未来的主要存在方式。通过数据应用服务，不仅能为企业提供用数据刻画、分析、挖掘、观测甚至调控的运营决策建议，还能协助企业进行产品监测、流程优化、生产管理等，提高运营效率，降低成本，改善质量。

最后是基于生态的商业模式。6G 将实现多种网络的融合互通，服务场景也得到极度扩充。一方面，运营商网络、卫星网络等将持续在各自专业领域内持续发挥作用；另一方面，6G 网络性能的极致拓张将持续催生应用走深、拓广，新形态的应用如全域应急、全息通信将涉及多地域、多网络、多服务，单一网络将仅能作为其中某一个环节发挥作用，网络侧企业需要全力合作方能满足新应用的所有需求，网络需要有自由组合搭配的能力，各方需要适应“被模块化”。6G 时代，多方合作、自由组合的商业生态将成为主流，专注于协调、对接、集成各方网络的网络集成业务可能会成为重要的新型商业形态。



2. 6G 业务发展趋势及愿景

2.1. 业务发展趋势

2.1.1. 6G 联通新生活

6G 将更加侧重于以人类个性化需求为中心，满足个人用户生活、环境和精神层面等各方面要求。6G 将会向智能移动通信 2.0 阶段迈进，进而推动人类社会从“万物互联”演变为“万智互联”，形成真正意义上的智慧互联时代。

为了应对未来个人用户对 6G 网络的服务需求，6G 时代的移动通信网络需要变得更智能、弹性和安全。网络需要具备自主学习能力，可以根据用户实际的情境感知信息、业务体验和个性化需求，进行智能化决策和自适应组网。6G 网络从感知资源层，到功能控制层，再到服务应用层将存在无处不在的分布式计算和智能内生能力。

利用人工智能技术的强大算力和创新模型架构，具备以人类需求为中心、结合多元知识进行类脑智能训练与推理的能力。从现阶段语音识别、图像识别和机器翻译等初级智能应用，向全自动驾驶、无人快递、精准医疗和自动欺诈检测等人类社会所需要的高级智能应用演进。随着技术不断进步，6G 时代网络有望支持除听觉、视觉外的触觉、味觉、嗅觉甚至是情感、意念的感知能力，人与机器可能实现深度连接，向个人用户提供前所未有的服务和应用。6G 时代的网络面向万智互联，将形成具备一定自我意识的智能移动网络，与人类生活深度融合，共同演进，进入全新阶段。

2.1.2. 6G 联通新生产

2030 智能信息社会将通过近乎即时和无限的全无线连接实现高度数字化，智能化和全球数据驱动，6G 将是实现这一蓝图的关键推动因素。6G 网络将

需要近乎实时地处理海量数据，支持极高吞吐量和极低延迟，实现泛在连接和全域覆盖，并集成包括传感，通信，计算，缓存，控制，定位，雷达，导航和成像等在内的所有功能，支持垂直行业应用。6G 网络将：

- 为工业互联网提供确定性网络通信。
- 增强 5G 垂直行业应用，例如大规模物联网（IoT）和全自动车辆。
- 基于人工智能的各类系统部署于云平台、雾平台等边缘设备，并创造数量庞大的新应用。
- 在人工智能理论、新兴材料和集成天线相关技术的驱动下，6G 的长期演进将产生新突破，甚至构建新世界。
- 工业增强现实的能力，通过全息和数字孪生等技术形成真实物理世界与数字虚拟世界的同步交互。

整体来看，6G 网络将极大地改变和促进行业的技术革新和发展，进而对人类生产方式产生重要影响。

2.1.3. 6G 联通新世界

6G 网络关注的目标将不再仅仅是数据传输性能，而是不断向空天地海外太空、全维度感知世界和网络空间不断延伸，使网络不断向更智能、更安全和更灵活使能，为人类提供无处不在、无时不在、无人不在和无事不在的信息基础设施。同时，随着人工智能理论和技术不断创新变革，其将会与通信网络相互协作赋能，共同进化，成为 6G 移动通信不可分割的一部分。

对于 6G 来说，将人、人工智能、流程、数据和事物结合在一起使得网络连接变得更加相关和更有价值。6G 将拉近万物的距离，通过无缝融合的方式，便捷地实现人与万物的智能互联。届时，智慧城市、智慧社会、智能家居等都将得到进一步发展；6G 时代还有望提供基于家庭的 ATM 通信系统、卫星到卫星直接通信、海上到空间通信，提供家庭自动化、智慧家庭/城市/村落、防卫、灾害防治以及其他相关应用。

未来数字化世界的进化趋势包括联接场景化、泛智能化、感官极限化、网络需求波动化、网络两极化等。通过 6G 对整个数字化世界赋能，基于新材料、新器件和量子物理提供的新工程技术，数据得以在云网边端之间汇聚、流动、分发和处理，形成一个以 6G 网络、芯片、终端、软件平台等元素组成的数字化世界。在 6G 通信世界中，关键使能技术将共生共存并共同融合发展，尖端技术的深度融合和反复迭代将实现更大的商业价值。

2.2. 6G 网络典型应用场景

2.2.1. 感知互联网

目前用户对互联网的使用还停留在文字、语音、视频的交互阶段，但追求更接近真实的虚拟世界体验是人们一直追求的目标。未来 6G 时代的感知互联网有望实现味觉、嗅觉、触觉等更丰富的人类生理感知体验，甚至有望实现人类情绪和意念有关的交互感知。通过感知互联网尽可能多的获取感官刺激未来将成为普遍的现实，这些前所未有的交互方式将给用户提供极丰富极新颖的用户体验和新的应用机遇。

感知互联网所需要的数据量极其庞大，同时需要极致的连接延时来保障感知的远程实时传递，内容和数据将通过 6G 网络传输。感知互联网最重要的应用之一是医学，通过远程控制机器人，医生能接收到触觉反馈，有助于进行更精确的工作，例如允许外科医生感觉到远程操作的手术刀施加的压力，或者使骨科医生能够操纵关节以帮助患者从受伤中恢复。嗅觉、味觉感知能力未来也会有众多有趣的潜在网络应用，例如食品行业，远程学习解决方案以及可以通过气味增强用户体验的数字广告等。

2.2.2. 智慧车联网

车联网是物联网体系中市场需求最明确的领域，随着车联网技术发展和服务水平的提升，将催生大量新的产品和业务。随着人口和全球化的增加，人员和货

物的流动仍然是一个严峻的挑战。到 2030 年，在线消费者购物预计将在发达国家占据主导地位，需要从仓库向个人家庭递送数百万个包裹。2030 年及以后的世界，将有数百万人联网，自动驾驶的车辆以不同的程度协调运行，使运输和物流尽可能高效，这些车辆可能包括自动驾驶汽车或是运送货物的自动卡车或无人机。

远程操作驾驶是一种远程操作系统，可以远距离控制汽车，这个概念被称为智能交通系统。6G 需要支持极低延迟，超可靠连接和最高级别的安全性，才能满足智能交通类应用的要求。未来的车联网技术将搭载先进的车载传感器和芯片，融合 6G 通信技术，具备复杂环境感知、智能化决策与自动化控制功能。车联网技术的应用可以有效降低目前全球交通和物流网络造成的伤亡率，目标愿景是实现交通零伤亡、零拥堵，达到安全、高效、节能的发展要求。

2.2.3. 工业互联网

工业互联网作为制造业数字化、信息化转型的重要基础设施，是强国建设的关键支撑和核心主线，将持续在科技革命和产业变革中占据重要地位。现阶段，5G 与工业互联网的融合催生了多种新型应用场景及业务，包括工业视觉、全连接工厂、AGV 智慧物流、AR/VR 远程维护等，加速了工业数字化发展进程。但由于工业场景的特殊性，其网络需求较高，5G 与工业互联网融合仍然存在局限，且未来工业场景随着社会不断向前推动，将向全面智能化、自动化、安全方向演进，移动通信系统演进的网络能力需要全面支撑工业互联网业务。

随着 6G 网络对确定性能力的提升，未来工业互联网场景将支持精细化的远程自动控制，不同厂房之间可利用无线网络进行机床等设备的高可靠、确定性时延的操作，完成生产工艺。工业全息图也将伴随着全息技术的发展，网络带宽等能力的提升，将在工业设计、仿真、实验验证中发挥更大的作用。工业机器人则是另一重要应用，通过精准的环境感知，定位、实时的控制及画面传输，多类机器人协作完成重物搬运、仓储物流及产线固定操作。此外，数字孪生技术将汇集工厂传感器、生产线、资源管理等系统的海量数据，构建完整的数字工厂，同时结合 AI、新型安全技术，将打造基于数字孪生的智能工业平台，完成数据自动

传输，智能化决策，智能化故障处理等流程，打通异地厂区的资源，实现工业互联网业务的全面创新。

2.2.4. 空天物联网

6G 网络将能够实现跨越大空间尺度的低时延业务。对于 2B 业务，企业可以有效地管理海外业务，对全球业务实现电信级专网管理，提升企业生产资料的安全性；对于 2C 业务，无论位于海洋、飞机上或在地面任意地方，用户都可以实现接入网络，随心所欲进行通信。让企业和公众体验到优质的泛在网络服务，促进社会消费、商业和娱乐等行业的全面数字化升级。

6G 网络将提供无差别的服务，对于偏远地区可以实现低成本的广覆盖业务，促进生产、生活与社会的数字化进程，改善城乡教育、医疗等公共服务资源的不平衡现象，促进社会资源的共享与协作。

6G 网络可以提供自然环境和城市环境的数字化管理，实现极端气候、灾难和社会事件的预警，为灾难防范预留时间；灾后提供机动快速的通信恢复和救灾逃生方案制定，为抢险救灾工作和人民群众的生命财产安全提供通信和计算基础保障。

2.2.5. 全息通信

媒介对人类社会的影响越来越大，它要随着不断变化的人类社会来不断的进化，在 5G 阶段 AR/VR 作为媒介更多的是应用于娱乐休闲，它带来的体验不可替代性较低。但随着 2020 年新冠疫情肆虐，全球局势瞬息万变带来的诸多挑战激发了全球新一轮科技和产业的革命。

全息通信作为能打破物理隔离的关键技术，在“后疫情”时代势必将深入到教育、医学、工业、商业等国民生活的方方面面。6G 时代下，全息应用正朝着成为现实的方向发展。通过将全息图叠加视频和音频流，实现全息化身的完全沉浸式体验，要实现这一点，需要跨多个数据流进行紧密同步，能以交互方式将多个源发送到一个或多个目标节点，因此我们可以预测完全沉浸式三维成像将给未

来的网络带来巨大的挑战。

全息临场感将允许远程参与者投射到一个空间中，通过实时捕获、传输和呈现 3D 图像，结合 6G 无线网络、可穿戴显示器、移动机器人和无人机、专用处理器等，使地理上分布的一群人能处于真实或者虚拟的同一个环境下。全息通信可用于远程培训和教育应用程序，为学生提供参与和交互能力，还可以用于复杂和危险环境下的远程故障排除和修复。未来全息通信的广泛应用会使人与人之间的互相交流和会议将呈现多种丰富的形态，并具备更多增强功能。

2.3. 6G 愿景

综合考虑业务发展趋势，现阶段联通对于未来 6G 愿景的初步设想，可以用“智能、融合、绿色、可信”八个字来概括，愿景涵义可以如用图 2.1 所示“6G DNA”来进行诠释。

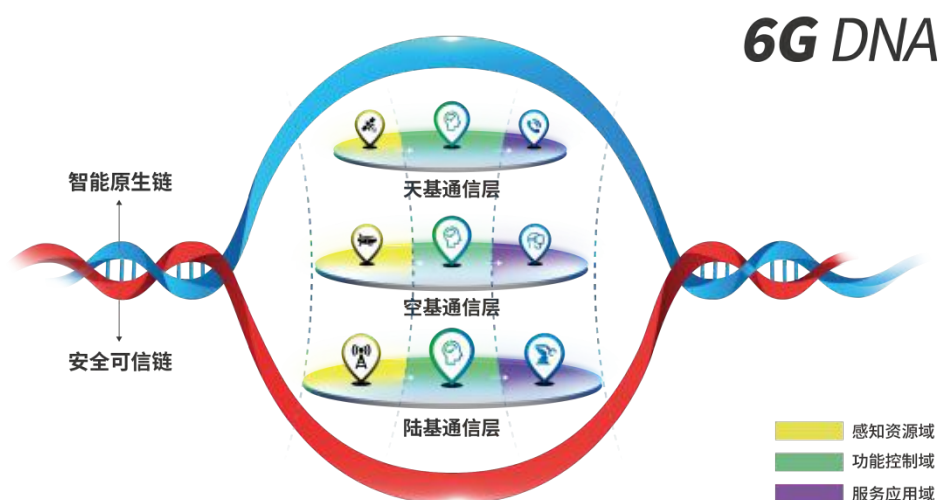


图 2.1 “6G DNA” 示意图

垂直三层：从网络连接的空间维度看，未来 6G 网络会是地面通信、空基通信和天基通信三层网络的全维度自然空间融合，提供全域泛在连接服务的网络。

左右三域：从具体功能的角度来看，未来 6G 网络架构应该包含感知资源域，功能控制域和服务应用域等具体功能域。

感知资源域将既具备对物理世界泛在信息的感知能力，例如人类的听觉、视觉、触觉甚至是情感意念的感知，温度、湿度等环境信息感知等，也包含对网络资源状态的感知。面向差异化应用环境复杂状态信息的泛在感知、融合和重塑，可以向网络提供感知信息资源，此外感知资源域还包括算力资源、存储资源等，为网络功能提供资源保证。

功能控制域提供端到端信息处理能力和服务化弹性架构，具备业务识别和精细化控制的能力。从业务情景出发，该域将对网络架构进行有效重塑，对网络资源和安全资源服务进行智能化编排，优化资源分配并控制不同的参数，实现架构的可弹性扩展。通过解耦物理网络设备间、安全资源与网络架构间的关联，为业务服务控制和安全监控提供诸多灵活性，从而促进资源效率、能源效率和运维效率的提升。

服务应用域是指承载在 6G 网络上的各类服务和应用的能力域，6G 网络的新特性和新能力进一步拓宽服务和应用的能力范围，服务和应用的主要属性将包括但不限于性能、SLA、时间能力、空间能力和业务连续性等。业务应用与 AI 深度融合，向多类型用户提供按需随愿的弹性服务。

内生两链：结合用户和业务对网络的能力需求，以及网络运维对网络的能力需求来看，智能原生和安全可信将成为未来 6G 网络的核心基因链，传递和表达 6G 网络的进化特征。

智能原生将成为 6G 的核心基因，实现 AI 与 6G 网络全融合。网元融合 AI，升级为具备多维实时感知能力的智能网元；网络与 AI 融合，提升网络分析和决策能力，实现“自动驾驶网络”；服务与 AI 融合，理解业务属性并提供差异化服务，构建起从无序到可预测、可管理的服务保障能力。6G 网络整体演进为拥有自学习、自适应、自生成、自恢复、自伸缩能力的内生智能网络。

安全可信将安全设计融入到网络设计和构建过程中。在 6G 网元构建、网络架构设计以及应用服务研发伊始，便全方位多角度融入动态、主动的安全防护能力和可记录、可追溯的可信免疫能力设计，将以对抗攻击为目的的安全防护提升为能够自主免疫的安全可信，使能和贯穿感知资源域安全、功能控制域安全和服务应用域安全。

整体而言，未来 6G 网络将实现全域融合和极致连接，为用户提供随愿按需定制的弹性开放服务，同时向智能原生、数字孪生、绿色共享、算网一体、安全可信等方向进行能力演进，用以实现“智能、融合、绿色、可信”的 6G 愿景。



3. 6G 网络特征

3.1. 全域融合

6G 将实现全球全域的低成本无差异的泛在连接，并通过多种接入方式的协同传输、对多个系统资源的统一管理，提高整体资源的利用效率，实现全空间域网络融合、全频域资源融合和物理-虚拟世界融合。

在宏观域，6G 网络将突破地形地表的限制，扩展到太空、空中、陆地等自然空间，消除地面偏远地区与发达地区的数字鸿沟，促进数字化社会经济的和谐发展；能够实现高低频、宽窄带全频谱资源的灵活配置和动态调度，充分融合或协同其它通信系统，如固网宽带、WIFI 等，支持多样终端形态，为用户提供更广泛和灵活的协同接入能力和无差别的业务体验。

在微观域，6G 网络将突破微观、抽象和生物环境限制并延伸至所有物理维度，广泛地支持通信感知融合、虚拟世界和物理世界融合等，深入人类感知、芯片工程、化学反应等微观空间。

3.2. 极致连接

提供连接以实现信息交互是通信网络最重要的作用，而“无线”连接是移动通信网络的重要特征。对于 6G 网络，在继承传统移动通信网络“无线”连接特征的基础上，进一步提供极致连接能力将成为 6G 网络的典型特征之一。

极致连接能力主要体现为 6G 网络的小区容量、用户速率、业务时延以及接入用户数量等网络核心性能指标的大幅提升，其中：

- 在速率与容量方面，6G 网络支持高频通信，更高系统带宽可以使 6G 网络的小区容量、用户速率等相比 5G 网络提升数十甚至上百倍；
- 在业务时延与可靠性方面，6G 网络支持更小粒度的空口调度时间间隔以及高性能的处理硬件，空口业务时延可以降低到百微秒级以下，并同时保障业务可靠性获得进一步提升；

- 在接入用户数方面，6G 网络支持将连接用户由二维平面拓展到三维立体空间，相比 5G 网络，支持接入用户密度提升百倍。

3.3. 弹性开放

2G/3G/4G 主要服务于个人用户，网络设计的差异化较小，其体验性往往只做到尽力而为，5G 引入切片来提供针对 2B 行业用户的差异化、定制化服务。6G 作为未来的网络将重点放在保证业务的情境、情感体验上。情境化业务融入了更多的人类情感意识，增加了业务的动态性和不确定性，因此 6G 需要提供极致的弹性服务来支持业务感知能力、情感识别跟踪与预测能力。

6G 网络需具备快速的匹配需求并进行定制化与验证的能力，支持全生命周期的管理，同时需要尽量融合到业务的处理流程中，能实现全域全场景管控。未来 6G 网络设计需要充分考虑网络的弹性与开放性，利用通用平台及微服务等技术特性，满足业务快速部署、功能及时优化、能力高效开放等需求。能力开放不仅是基础设施的能力开放，也是基础服务的能力开放，既包括接入功能、核心功能、应用功能的能力开放，也包括底层的资源例如算力的开放，以及上层服务例如数据，智能化功能的开放。

未来 6G 网络将从支持大带宽、多连接和超可靠的 5G 网络进一步向超上行、低时延、和融合感知的方向持续演进，以增强覆盖、提升容量、提高效能、降低时延为目标，推进数字化变革，打造云化、虚拟化、智能化、开放化的“四化”网络，构建面向未来的新体系和新服务。

3.4. 智能原生

6G 是万智互联的时代，智能原生将成为 6G 的核心特征。6G 网络通信系统的智能化将体现在 6G 网络系统本身，通过与 AI 技术的多层级深度融合，实现在没有人工干预的情况下进行网络自治、自调节以及自演进。同时，6G 网络的智能原生特性还能降低数据收集、传输过程造成的时延和信息泄露隐患。

6G 网络架构全面融入 AI 技术，打破了传统的以网络为中心进行服务的架构，转换为以服务为中心的架构，能够根据服务需求和网络环境自发地演进，从而适

应未来更为复杂多变的应用场景，实现“网随业变”。AI 以不同的方式融合进 6G 网络系统各域中，赋能各域自主控制和自主调节的能力。例如，在 6G 网络的云、管、端引入分布式 AI，使得网络能够自运营、自优化，成为全自动驾驶网络；在无线设备物理层中用 AI 模型替换传统的统计模型，将数据处理模块由相互独立的设计结构向联合设计结构转变，提高网络可靠性；在每个空口协议栈加入 AI 功能，增强协议的灵活性。

3.5. 数字孪生

6G 网络提供了万智互联能力，并提供了高效、可靠的数据通道，使得数字孪生世界能够从当前的侧重收集与还原现实世界，进化到未来的侧重操控现实世界。

5G 网络结合高速发展的传感技术，使得人类能够更精细化的了解世界，为数字孪生世界打通了现实至虚拟的感知通道。而 6G 网络将结合后续的机器人和自动化技术，利用网络所提供的可靠通道，对世界进行更精准的改造，进一步为数字孪生世界打通虚拟至现实的操控通道。

借助未来 6G 网络的能力增强，数字城市、孪生工业、智慧医疗等众多领域中都会得到大跨步的进步，数字孪生世界将逐步得以实现。

3.6. 绿色共享

坚持绿色发展才能可持续发展，“绿色”势必会成为 6G 网络架构的设计理念之一。6G 网络的“绿色”设计理念将体现在两大方面，一是“绿色生态”，强调保护自然生态，增强通信设备与环境融合，同时减少空间、土地资源占用；二是“节能减排”，5G 网络已从多角度实施了节能减排的策略，例如，实现软硬件解耦提高硬件使用率、无线设备增加软件节能方式、实现基站网络级节能等等，6G 网络将在 5G 已有的节能减排的方案之上，推动无线设备向通用化、开放化发展，提高无线设备使用率，同时硬件设备采用更先进的低能耗材料，例如“金刚石芯片”以及新型晶体管。

为了降本增效和绿色发展，5G 网络以共建共享的方式进行建设，6G 网络的

“共享”理念更加体现共享的本质，就是将有限资源服务于更多群体。在共享内容上，6G 网络不仅共享站址和设备，还共享算力和频谱等其他资源；在共享范围上，6G 网络的共享将由运营商行业之间的共享扩展到与其他行业之间的共享，让共享促就共赢。

3.7. 算网一体

过去业务对算力的高需求主要体现在各类媒体处理如视频编解码、视频渲染，大数据和机器学习等。未来伴随着业务场景的拓展，以及新型业务带来的新维度的性能要求，对算力需求拓展到物理层感知、基于神经网络等深度学习方法的视频感知、车联网雷达点云，太赫兹成像等泛在感知类，以及人与智能体，多智能体间的博弈计算及深度强化学习类。

未来 6G 需要充分考虑基于整体的算力架构，打造三层算力网络，包括算力硬件、分布式计算层、抽象及通用原语层，设计全新的网络标准接口，结合分布式 AI，可编程数据面，低延迟 Fabric，新型承载网络及传输协议，实现算力的协同与流动，实现全网的算力泛在，为各类业务以及高度智能化系统提供所需基础设施。

3.8. 安全可信

6G 网络的安全可信包括安全和可信两个方面，并且在 5G 网络外挂式网络安全模式的基础上更加强调安全可信的内生。

网络安全方面，6G 网络需要以对抗网络攻击杀伤链为目标，将外挂式的安全防护转化为内生的安全能力，建立面向物理硬件、存储数据、网络连接、操作系统乃至应用程序的纵深全域安全防护体系，使网络攻击“进不来、改不了、出不去、逃不掉”。

网络可信方面，6G 网络需要建立从底层数据到终端软硬件、网络传输和网络边界的域内可信和域间信任链传递机制，实现基于“无攻击逻辑”的自证清白能力，向物理世界提供面向网络的可信体系，即网络可信。

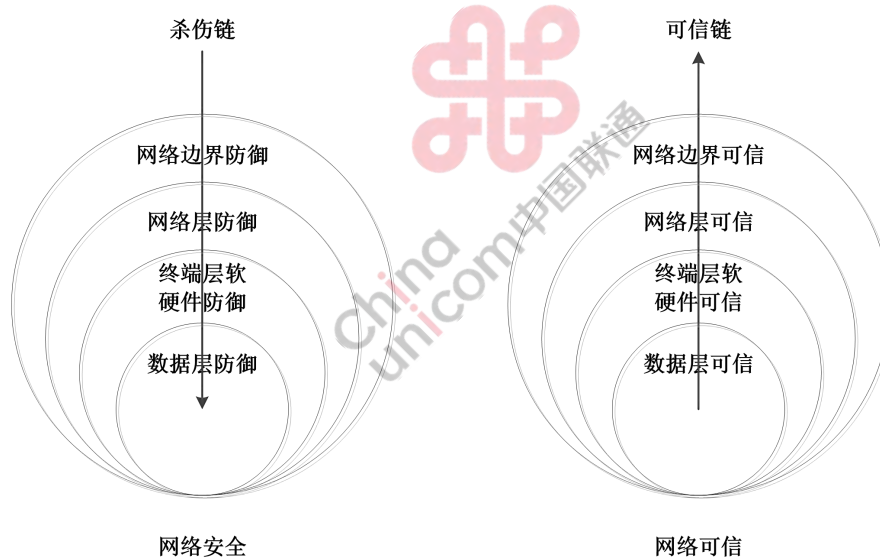


图 3.1 网络安全与网络可信

4. 6G 网络能力指标体系

在移动通信网络的代际更替过程中，以上一代网络的性能指标为基础，通过重构或优化网络架构、协议方案，可以取得网络性能指标的不断提升；同时依据潜在的业务发展需求，内生性引入新兴的技术方案，可以有效增加网络指标体系的衡量维度。

未来 6G 时代的通信业务应用，例如全息通信，增强现实/虚拟现实等，对数据速率、时延和连接数等网络 KPI 的需求与 5G 相比可能呈现数量级增长。对于 5G 网络的延续性能力指标，如速率、频谱效率、流量密度、连接密度、时延与可靠性、移动性、系统带宽以及系统能效等，6G 网络需要结合新愿景和新需求进行全面增强。下面是 5G 增强类指标在 6G 网络的预期和能力需求讨论：

- ✧ 速率指标：典型速率衡量指标包括小区级上行峰值速率、下行峰值速率以及用户级体验速率指标，6G 网络支持毫米波、太赫兹频段通信，速率指标可以提升到 5G 网络数十倍以上；
- ✧ 频谱效率指标：典型衡量指标包括小区级上行峰值频谱效率、下行峰值频谱效率、平均频谱效率以及用户级体验频谱效率，单流业务 6G 网络的频谱效率指标需要有进一步提升；
- ✧ 流量密度：通过在更高频段支持更大的系统带宽，6G 网络容量将急剧提升，而高频系统覆盖面积将降低，因此，6G 网络支持的流量密度能力需要提升到 5G 网络的数十上百倍；
- ✧ 连接密度：6G 网络支持陆地、海洋及天空的全域连接，二维空间到三维空间的连接提升以及连接终端的增长需要 6G 网络的连接密度相比 5G 网络实现进一步提升；
- ✧ 时延与可靠性：6G 网络需要支持更精细粒度的空口调度时间间隔，6G 网络硬件需要进一步提升处理能力，在 5G 网络基础上，保障相同业务可靠性的情况下，6G 网络的空口时延需要进一步降低，单次业务包传输的空口最低时延需要降低到百微秒级以下；

- ◇ 移动性：6G 网络需要支持高铁、飞机等交通工具运行状态下的用户连接，支持用户移动速度需要达到 1000 km/h 以上；
- ◇ 系统最大带宽：6G 网络支持毫米波、太赫兹频段部署，支持单载波或者多载波聚合情况下的系统带宽需要达到 1 GHz 以上；
- ◇ 系统能效：6G 网络能效需要支持有负载场景下的高效的数据传输，支持无负载场景下的低能耗运行，因此，相比 5G 网络，在支持系统休眠的基础上，支持更灵活休眠态与激活态调整以及更低的状态转换时延是衡量 6G 网络的系统能效的重要指标之一。

除了传统通信类指标增强外，6G 网络还将演进和衍生出更多衡量维度，既包括比较具体的维度，比如感知技术融合后衍生出的定位精度、感知灵敏度等指标等，也包括抽象能力的指标维度，比如智能和安全信任能力的衡量等，算力评估等。

从智能原生的能力衡量维度来看。6G 网络将在系统架构设计和协议栈设计阶段就考虑 AI 相关需求并对其做标准化和固化，使 6G 网络可以内部自取完成全局的智能化。智能内生能力的衡量除了自学习、自适应、自生成、自恢复、自伸缩等功能特性外，还需要支持对各项智能内生能力进行量化对比，否则在进行相关技术标准化和协议设计时，将无法量化对比某些局技术是“强”智能还是“弱”智能。

从安全信任的能力衡量维度来看。首先，未来 6G 网络需要包含网络态势感知的多维度性能统计，以及对网络风险进行分析评估的系列指标包，使网络可以具量化地感知网络态势和评估网络风险，及时更新安全防护策略。其次，安全信任的使能需要对用户和业务的安全需求进行具体等级划分，并映射至具体量化维度和指标，便于网络可以根据不同实现安全可信服务的按需定制、动态部署、自适应响应，保证安全运维的自动化、智能化、可信化。

从算力评估的维度来看。算力量化体系部分现阶段还比较粗放，有业界研究者提出大致需要从计算业务类型、QoS 分类、计算并发度要求、通信类型、网络延迟和调度效率等维度入手开展相关的详细评估和深入研究。



图 4.1 6G 系统典型业务、指标体系和使能技术

需要指出的是，上述指标分析是基于业务需求提出的未来 6G 网络能力指标体系的理想预期，基于该预期业界将讨论和考虑使能上述需求的关键技术，最终网络能力指标体系的成型也会反过来受限于相关使能技术的突破和发展。最终 6G 网络新演进的具体量化指标有较大概率会反映和融合智能、安全可信和算力等使能特征和衡量维度。此外，6G 丰富的多维度网络指标体系除了独立提出之外，在下一代无线网络中还可能以组合/指标包的形式存在，用以适用多样化用户和业务应用需求。

5. 6G 候选技术分析

5.1. 6G 技术发展趋势

从移动通信网络的发展历史可以清晰的看到下一代网络技术的分析过程：从业务需求可以得到未来网络的特征，进而分析未来网络架构和相关的业务指标，进而从定性和定量的需求角度选择使能技术。我们当前处于 6G 网络发展研究的初期，对于 6G 业务需求，网络架构探讨刚刚开始进行，距离初步达成一致还需要一段时间的讨论。对于 6G 使能技术还处于开放式的探讨中。这种探讨更多的是从独立的技术本身的可行性角度出发，尚未考虑技术之间的影响和系统性的关联分析。可以预见到从当前时间节点到 6G 网络技术完成标准化这个时间段，会进行多次迭代式或者螺旋上升式的分析过程。

从传统的角度可以将通信使能技术分为无线和网络两个维度，但是下一代通信系统的技术维度将存在两个趋势，一是无线和网络技术维度的模糊化，二是其他非通信的维度进入通信，如智慧、信任等维度。这需要我们以更开放的态度考虑 6G 使能技术的发展。

目前业界有较多的潜在 6G 候选使能技术，从在本章中，我们对于一些高潜力的 6G 技术方向进行了初步探讨，包括新频谱拓展方向、空天地泛在方向、电磁波传播方向、接入网服务化架构方向、新多址技术方向、智能和可信方向、数字孪生方向等。

5.2. 6G 无线使能技术

5.2.1. 高频通信

现有微波和毫米波频段支持的峰值速率极限在 10Gbps 左右，将无法满足太比特极致连接、全域覆盖等网络能力需求，通信频段必然向具有超丰富频率资源的更高毫米波频段甚至太赫兹频段延伸。

太赫兹 (Terahertz, THz) 波指位于 0.1THz-10THz 频率之间频段的电磁波, 如图 5.1 所示。太赫兹波的波长范围是 $30\ \mu\text{m}$ -3mm, 在整个电磁波谱中位于微波和红外波频段之间。相比于 5G 的 sub6G 频段和毫米波频段, 太赫兹频段凭借丰富的频段资源优势, 受到学术界的热烈关注, 也受到欧、美、日等国家区域和组织的高度重视, 与更高频段毫米波通信技术都是目前极具潜力的 6G 关键候选频谱技术。

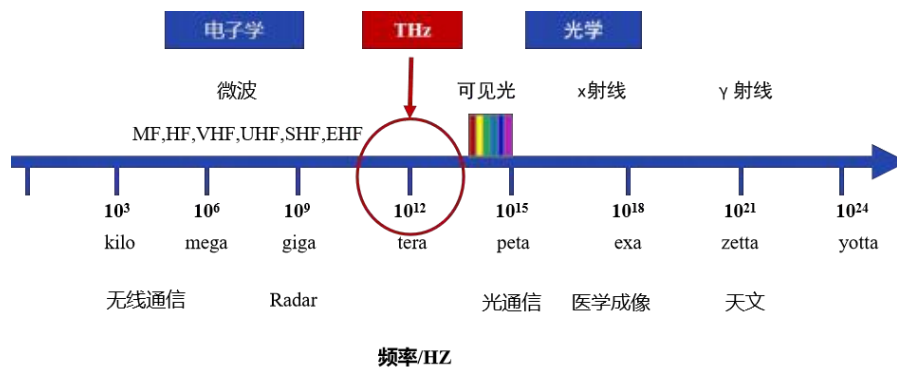


图 5.1 太赫兹频谱频段

高频通信可支持超大带宽超高速率通信传输, 但高频通信频段的路径损耗较大, 且穿透和绕射能力较差, 易被建筑物和物体遮挡。因此高频通信具有大带宽、超高速、短距、安全等应用特点, 未来有望应用于无线回传/光纤替代、无线局域网/个域网、无线数据中心和安全接入多种地面超高速通信场景, 也可以通过搭载卫星、无人机、飞艇等天基平台和空基平台实现空天地海多维度一体化通信, 与微纳技术结合应用于从宏观到微观的多尺度通信。

高频通信技术目前需要研究和发展推进的工作方向主要包括: (1) 太赫兹关键器件更高功率和效率的突破, 从分立元器件研制向低成本小型化集成化的进化等; (2) 多种 6G 通信应用场景下的高频电磁波传播特性和信道建模研究; (3) 太赫兹通信空口技术, 未来高频通信空口技术的架构设计应该具有足够的灵活性, 可以支持频谱和带宽资源的动态配置、波束接入的智能管理, 以及高低频、空天地多维度、宏观到微观多尺度的空口协同和信息融合, 支持覆盖多种高频通信应用场景。其中高频通信关键器件的高性能研发能力和低成本产业化能力对高频通信技术未来应用落地具有至关重要的决定性影响, 也是目前高频通信亟待突破的最关键技术发展方向。

尽管现阶段高频通信的发展面临诸多技术挑战，但随着相关技术的不断突破和频频器件产业的持续发展，高频将凭借其丰富的频率带宽资源等天然优势，与其他低频段网络融合组网，广泛应用于多维度多尺度通信场景，成为未来实现 6G 全域泛在和极致连接网络的重要支撑技术，成为未来社会信息融合联接的重要组成部分。

5.2.2. 智能超表面

智能超表面技术是一种基于超材料发展起来新技术，也可以看做是超材料在移动通信领域的跨学科应用。智能超表面在超材料的基础上增加控制电路，如图

5.2 所示，一个智能超表面材料由大量智能超表面单元组成，智能超表面单元的几何结构、尺寸大小和排列方式决定了的基础电磁特性，通过基于 FPGA 可编程逻辑门等可编程控制电路影响超材料的电磁特性，例如施加在变容二极管上的电压或施加在光敏元件上的光强，可以动态地控制这些智能超材料单元的电磁性质，比如单元的反射系数和透射系数，进而改变反射信号或透射信号的幅度、相位、频率甚至极化特性。

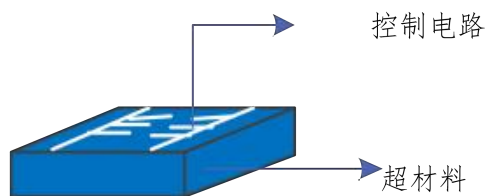


图 5.2 智能超表面单元结构示意图

智能超表面技术可以实现对无线信号的可程式无源反射、透射、吸收和散射，搭建物理电磁世界和数字信息世界之间的映射桥梁，实现对无线传播信道的主动智能调控，突破传统无线信道不可控的限制，构建 6G 无线环境智能可编程新范式。

由于目前智能超表面材料主要以半导体器件、液晶等材料为主，原产业链规模化量产技术相对较为成熟，因此智能超表面材料商用成本基站、中继等设备预计相对较低，可缓解网络建设部署成本攀升；智能超表面技术的工作模式主要以无源发射、透射或吸收模式为主，无需传统发射机或中继设备中的功率放大器、

滤波器、混频器等器件，因此，智能超表面材料在绿色节能、硬件设计复杂度等方面也具有一定优势，缓解网络运营维护成本；智能超表面的技术原理是在无线信道空间通过增加反射信道、增强介质透射能力或增大介质吸收信号的能力，提升有用信号强度、降低干扰信号强度。

智能超表面技术应用场景十分丰富，既可以用于室内覆盖增强，也可以用于室外覆盖增强；既可以用于简化发射端设计，也可以用于主动改善信道传播环境、增强有用信号、消除非接收方向信号，减小干扰和电磁污染；既可以用于提升多波束赋型能力，提升波束方向性精度和定位精度，也可以用于阻断由于天线辐射方向性泄露引入旁路窃听。除此之外，基于智能超表面的无线中继能够在不引入自干扰的情况下实现全双工模式的传输。

5.2.3. 轨道角动量多址技术

根据经典电动力学理论，电磁辐射还可以携带角动量。角动量分为两部分，分别是自旋角动量（SAM, spin angular momentum）和描述螺旋相位结构的轨道角动量（OAM, orbital angular momentum）。轨道角动量（OAM）是区别于电场强度的电磁波固有物理量，OAM 传感器检测电磁波轨道角动量，传统天线检测电磁波的电场强度，两者之间是相互独立的。

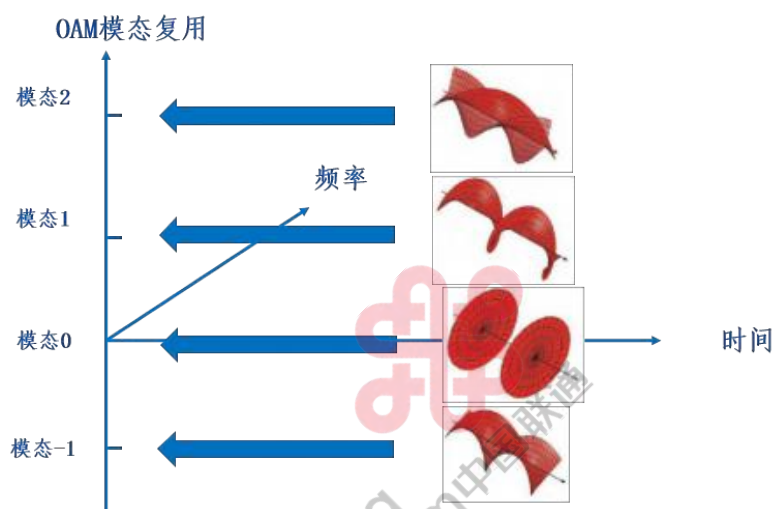


图 5.3 OAM 模式示意图

OAM 复用技术新增了一个多址维度，不同 OAM 模式在空间上相互正交，构成

一个理论上具有无限维度的态空间。通过将不同 OAM 模式作为独立的信道传输将大幅提升通信系统的传输容量,可以有效地提升网络的频谱效率,将大大缓解未来 6G 网络日益增长的业务需求与日益紧缺的频谱资源的矛盾。

利用角动量的通信技术与利用线性动量的通信技术存在明显区别。6G 对传输容量的巨大需求会使实际的通信系统陷入带宽瓶颈,利用 OAM 进行通信被视为应对可预见的容量紧缩的关键解决方案。OAM 已经在光通信中被成功利用,在无线通信中也有着非常好的应用前景。

5.2.4. 空天地一体化

空天地一体化技术将实现地面通信、空基通信和天基通信三层网络的全维度自然空间融合。

如图 5.4 所示,面向 6G 的空天地一体化通信网络是典型的异构网络,是以地面网络为依托、以天基网络和空基网络为拓展的立体分层、融合协作的网络,各星座卫星(包括高、中、低轨)、高空网络(临近空间平台和航空互联网)、低空物联网和地面蜂窝网络共同形成多重覆盖。

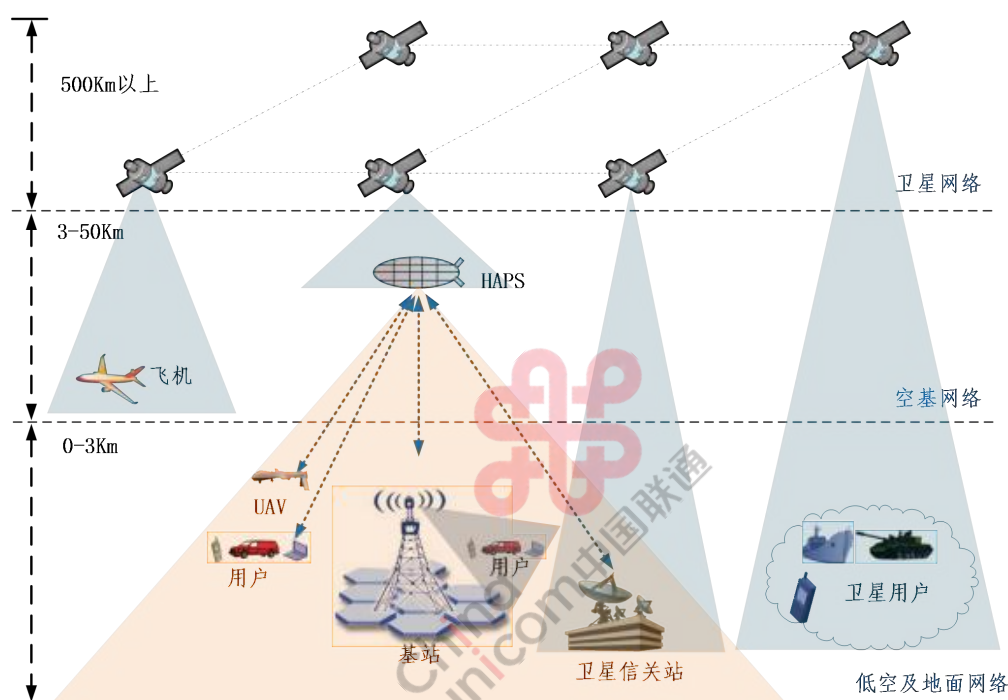


图 5.4 空天地一体化融合组网结构

非地面网络和地面网络采用相同的网络架构与技术体制,通过统一的接入协议和资源管理机制,支持对多种终端和多种通信网络(如固网宽带、WIFI 等系统)的广泛和灵活的接入能力及对跨域资源的智能统一管控。空天地一体化的通信网络有助于运营商实现低成本的全域泛在覆盖,挖掘全新应用市场;有助于消弥数字鸿沟,促进数字化社会经济的和谐发展。地面移动网络提供基础的大数据存储与处理能力,并利用高数据传输速率提升大部分陆地区域的数据传输的效率;非地面网络提供偏远地区、海洋、空域等立体覆盖能力,协助地面网络实现全域泛在覆盖。深度融合的空天地一体化网络可以充分利用卫星、HAPS/HIBS 和地面 6G 网络各自的特点与优势,实现用户的极简极智泛在接入和全域时敏服务。

5.2.5. 基于服务的无线网络

SBA 服务化网络实现了 5G 网络功能模块化、无状态设计和 C/U 分离的需求,无线也引入 CU/DU 分离的架构来支持不同行业用户和业务的快速交付,但是 5G 无线的技术架构底层虚拟化程度不高,无法支持极低时延的部署,业务融合程度较低,这些都约束了无线提供情境化业务的能力。所以接入网的服务化将是未来比较有应用价值的技术之一。这主要是因为下一代无线网络需要赋能各行各业,对网络的灵活性提出了很高的要求,同时下一代无线网络对信任,智能,通感及编排的内生设计要求,均要求接入网需要从烟囱式的协议栈架构转为基于服务的架构。

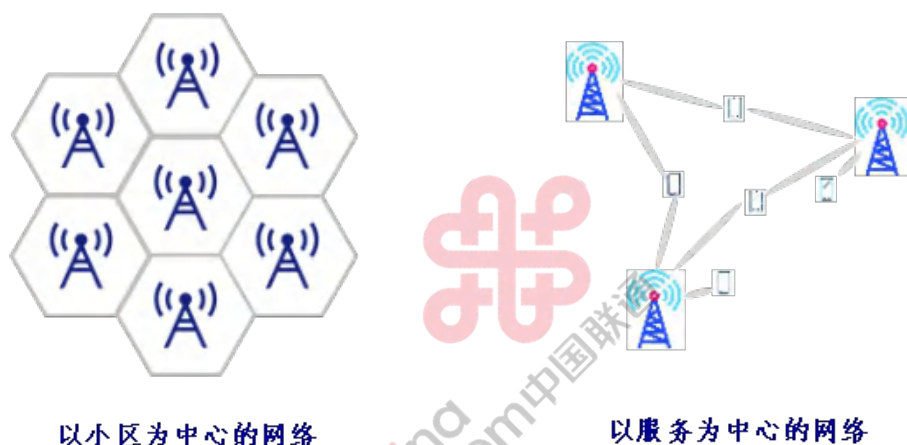


图 5.5 基于服务的无线网络示意图

具体来说,6G 基于服务的无线网络融入 AI、感知通信一体化,接入网相比

现有 5G 接入网会有比较大的颠覆式重构，并影响到 UE 和空口的设计。空口需要更灵活的组网，小区的边界可能会被打破，空口资源可以更灵活的编排和定制，移动性和业务连续性大幅增强。通过集中调度和协调多个小区工作，实现“以服务为中心”的网络，传统“以小区为中心”的网络边界正变得模糊，网络越来越接近“无蜂窝状”构架。可以采用完全虚拟化的无线接入网 RAN+Massive MIMO，6G 基站将只有天线与射频部分，由于 RAN 是完全虚拟化的，部署就很灵活，这种方式可使得网络性能最大化，网络配置具有高的成本效率。

5.2.6. 无线 AI

6G 是万智互联的时代，应用场景更为复杂，终端对网络性能的要求也更高。虽然高频段和多天线等新技术提升了网络性能，但是网络复杂度也因此进一步提升，加大了网络优化难度。AI 技术依托于大数据技术和机器学习算法，能够有效解决无线网络中场景复杂多变的问题。虽然 5G 网络已经采用了一些外挂 AI 的方式进行网络优化，但是这种外挂 AI 的方式应用效果有限，且在数据收集、传输过程会带来时延以及信息泄露隐患。6G 网络 AI 将以多层级内生、分布式协作、以服务为驱动的方式融合到无线技术中，实现无线网络自治、自调节以及自演进，以适应未来更为复杂多变的应用场景，实现“网随业变”。如图 5.6 所示为 6G 无线 AI 示意图。



图 5.6 6G 无线 AI 示意图

多层次内嵌式 AI，打破外挂式 AI 架构，通过与无线网络协议栈多层次内嵌式深度融合，来增强协议的灵活性，提高网络可靠性，提升数据分析、保障智能决策实时性。分布式协同 AI，打破集中式计算方式，实现分布式资源协同，以及网间智能操作协同，从而提升网络效能。以服务为驱动的 AI，打破了传统的以网络为中心进行服务的架构，转换为以服务为中心的架构，使网络能够自主感知服务需求和网络环境，为用户提供精准服务。

虽然无线 AI 应用前景显著，不仅能提高网络性能，应对愈来愈复杂的场景需求，为各类业务提供定制化网络质量体验，还是实现 6G 网络自治、自演进的关键技术。但是，无线 AI 技术应用落地仍面临着诸多挑战，例如数据的采集和存储缺乏统一标准；为了提高用户隐私安全，用户数据使用规定越来越高；物理层数据分析实时性要求高等。因此，无线 AI 依然需更深入地研究，以突破技术难点，在 6G 系统中得以充分应用。

5.3. 6G 网络使能技术

5.3.1. 数字孪生

6G 时代，数字孪生技术将被广泛的应用于网络之中，利用不断进步的感知+建模技术，构建真实物理网络的虚拟数字孪生体，提供现实世界查询+虚拟世界预估+现实与虚拟交互三大方面的能力。

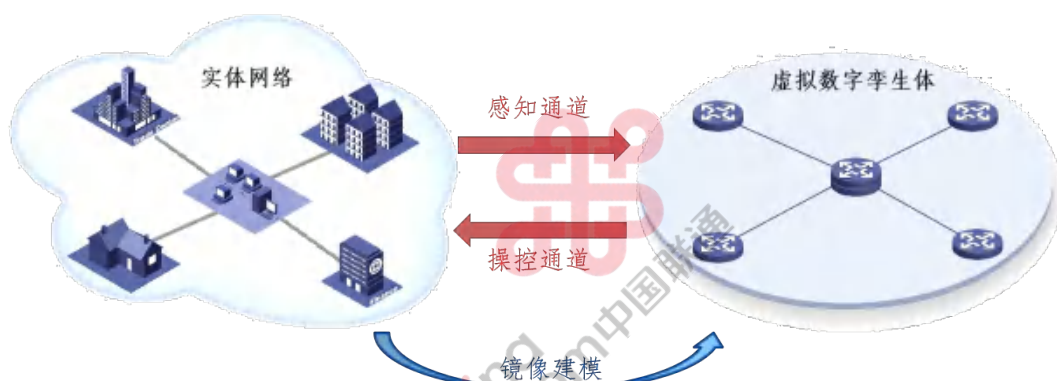


图 5.7 数字孪生网络示意图

网络数字孪生的实现，需要通过感知、建模、数据处理和管控等多种技术的

来实现：包括通过不断进步的网络测量、数据收集技术，更加精细化的获知网络状态的网络感知技术；通过云化技术，构建统一的、可靠的数据平台，对内/对外提供底层数据支撑的统一数据平台技术；进行网元建模、拓扑建模，利用数字化手段模拟网络运行的网络建模技术；利用标准化、自动化的接口，打通网络虚拟数字孪生体与现实物理实体的管控操作交互通道的网络管控技术。

数字孪生技术在未来网络中的实现，将会给 6G 网络带来多方面的能力增强。强大的现实还原能力，提供更全面的网络状态、更精准的问题定位；灵活的仿真模拟能力，依靠准确、虚拟、高效的机制建模，提供更便捷的策略模拟、更安全的方案预评估、更直观的结果可视化；便捷的管控能力，提供简洁化、自动化、可视化的操作手段，大幅度降低人工成本。

5.3.2. 区块链

区块链（Blockchain）是一种集链式数据结构、点对点传输、分布式存储、共识机制、加密算法等多种技术为一体的技术体系。典型的区块链以块-链结构或有向无环图结构存储数据，通过多方共同维护，使用密码学保证传输和访问安全，实现数据一致存储、难以篡改、防止抵赖的能力，可以为在不可信的竞争环境中低成本建立面向网络信任的新型计算范式和协作模式。区块链凭借其独有的信任建立机制，正在改变诸多行业的应用场景和运行规则，是未来支撑 6G 网络信任体系的关键。

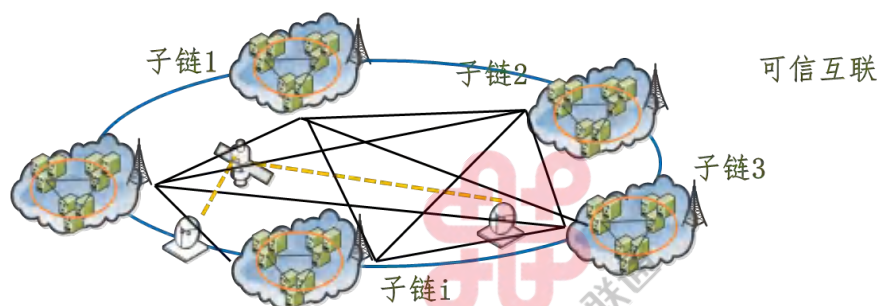


图 5.8 基于区块链的信任互联网络示意图

随着移动互联业务对大带宽、广覆盖需求的进一步提高，向高频频段和天地一体立体化组网架构等领域发展已经成为未来 6G 移动通信网络演进的必然趋势。但是，更高的工作频段也意味着更大的路径损耗、更小的覆盖半径和更高昂的建

网成本，立体化的组网架构同时也将更多的网络运营者，因此，无论是从业务需求、技术痛点还是成本效益角度出发，网络共建共享都有可能成为未来 6G 网络建设的重要方向。在网络共建共享场景，基于区块链的信任互联为网络共建的多家运营商提供公开可信高效的网络质量追踪、网络设备监控、数字身份认证、网络漫游结算服务。

未来区块链技术发展的重要趋势之一就是实现规模化网络部署。实现区块链网络规模化部署还需要跨越三个阶段：一是在电信基础设施网络上实现电信领域区块链网络规模化部署，形成区块链网络规模化部署的早期雏形；二是通过跨链技术实现电信网络规划化区块链网络和垂直行业区块链网络之间的跨链互通，形成服务社会的全行业区块链底层基础设施；三是通过状态通道、链下计算等方式连接链上链下，打通区块链网络与链下网络，乃至与物理世界进行映射，最终实现泛在网络信任。

5.3.3. 确定性网络

确定性机制最早提出是在 IEEE 组织，主要用于解决固定网络中时延及带宽的不确定性，形成了 TSN 技术体系。由于其局限在二层以太网，后又发展了 Det Net、DIP 技术体系，但研究仍然集中在固定网络。移动网络由于其天然空口的不确定性，以及端到端范围较广，实现确定性存在较大的难度。伴随着移动网络与各行业业务的深度结合，包括工业闭环控制、数字孪生、远程医疗、无人驾驶、VR 游戏等，需要保障极低的时延，微秒级抖动以及更高的可靠性。面对这种业务新趋势，移动网络也应该由传统“尽力而为”做到“准时、准确”，即实现移动网原生确定性。

移动网涉及多个层面网络技术，要实现原生确定性也需要从多个角度考虑。首先，就网络层面而言，接入网，传输网，核心网要保障各自网域的性能，包括空口侧精准时钟同步、定位，智能化管控及调度技术，传输侧广域确定性、新型 IP 等技术，核心网侧架构优化、云网协同、切片增强等技术。同时，针对所有网域，需要实现全域辅助的精准感知与协同，包括资源动态收集，业务流精准调度，以及结合内生 AI 对整个系统进行精准感知、分析，快速决策相应。其次是

业务层面，不同行业对确定性指标的需求不同，行业需求指标与通信系统指标需要进行一一映射，移动网确定性要实现行业需求到具体 SLA 指标的转化。最后，移动网往往会与其他网络融合，共同赋能垂直行业，因此需要与 TSN 等技术体系进行网络架构协同、关键能力互通，网络边缘的管理。总结而言，确定性移动网络需要通过多项新型技术的融合实现，支撑 6G 提供更精准的能力，赋能更多的垂直行业业务。

5.3.4. 分布式异构网络

6G 网络将进一步走向大集中与深分布的网络形态，一方面网络控制面功能进一步集中，数字化、智能化与数字孪生等技术使能网络大脑的形成，另一方面由于低时延与边缘本地业务驱动及网络资源的下沉，网络数据面走向深分布。

6G 网络的异构自治特征更加突出：(1)接入异构：具备天、地、空、海等多种异构接入场景及网络性能需求；(2)管理异构：垂直行业网络、家庭网络、个域网络及宏网络共存的网络管理；(3)资源异构：算力、数据、内容及基础设施等网络资源的来源异构。



图 5.9 分布式异构网络形态

如图 5.9 所示为分布式异构网络形态示意图。分布式末端网络系统是靠近用户或实际生产系统的终端网络功能或实体，实现一定区域内的网络通信能力，并具备分级的用户和网络管理权限。互信技术保证用户终端网络系统与 6G 核心控制系统的操作一致性、操作可信，及用户端网络系统的全生命周期。网络互信网关：负责分布式末端网络系统与核心控制系统的互信协议转换、互信管理信息交换、外部接入安全防护等。核心控制系统负责授权和管理分布式末端网络系统及跨域异质网络的通信。

分布式异构网络使能驱动 6G 网络具备原生可信、异构自治、价值共享能力。

原生可信的网络基础设施提供多利益方参与 6G 网络的基础，提供数字社会的原始信任锚点；分布式信任与网络单元自治，赋能深分布场景下网络单元的自治与协同；网络资源及价值共享，激发网络资源共享生态及市场导向的资源配置。



6. 结束语

全球多区域国家和组织已陆续启动 6G 研究计划，国家也已开始在政策支持和产业引导等方面逐步加大支持力度，推动 6G 技术研发和产业发展。中国联通作为运营商，会紧跟国家产业政策和发展布局，践行网络强国，把握全球数字时代历史机遇期，紧抓未来五到十年产业发展窗口期，在关键技术研究及标准化推动、技术交流与产业合作平台、6G 试点应用等方面同时发力，保证未来 6G 网络的平滑演进和先进性。

中国联通秉承“聚焦、创新、合作”的实施理念，聚焦 6G 共性和关键技术研究，提升自主可控核心能力，坚持开源开放原则，保持高密科研投入，深入开展技术迭代创新和增强核心技术创新。前期中国联通聚焦太赫兹通信、空天地一体化网络、区块链可信共享和确定性网络等 6G 高潜力使能技术方向的相关研究工作。本白皮书发布的目的是向业界阐述中国联通在 6G 研究起步阶段，对下一代通信网络愿景、网络特征、网络需求和关键使能技术的初步观点，提出了联通现阶段的 6G 愿景：“智能、融合、绿色、可信”。

未来中国联通将围绕上述愿景开展 6G 技术研究布局，构建包括愿景与需求，网络架构和使能技术的 6G 全技术体系和研究团队，跟随产业发展动态和形势，持续开展 6G 使能技术重点攻关研究。并从核心技术创新研究、标准化推动和产业合作平台三个方向建设循环促进的闭环研究体系和研究生态。同时我们诚挚的邀请业界所有关注 6G 技术的高校和研究机构共同参与，协作推进 6G 关键技术研究、6G 技术标准化和 6G 技术先行先试等工作，协同推动中国 6G 技术领先优势，为实现未来“智能、融合、绿色、可信”的 6G 愿景携手合作，共创 6G 美好未来。

附录：缩略语

缩略语	全称	释义
2B	To Business	面向企业用户
2C	To Customer	面向个人用户
AI	Artificial Intelligence	人工智能
AGV	Automated Guided Vehicle	自动导引运输车
AR	Augmented Reality	增强现实
CT	Communication Technology	通信技术
DetNet	Deterministic Networking	确定性网络
DIP	Deterministic IP	确定性 IP
HAPS	High Altitude Platform Station	高空通信平台
HIBS	HAPs IMT BaseStation	高空 IMT 基站
IT	Information Technology	信息技术
IoT	Internet of Things	物联网
KPI	Key Performance Indicator	关键性能指标
MAC	Medium Access Control	媒体接入控制
NaaS	Network As A Service	网络即服务
OAM	Orbital Angular Momentum	轨道角动量
PDCCP	Packet Data Convergence Protocol	分组数据汇聚协议
RLC	Radio Link Control	无线链路控制
SAM	Spin Angular Momentum	自旋角动量
SDAP	Service Data Adaptation Protocol	服务数据调整协议
SLA	Service Level Agreement	服务等级
TSN	Time Sensitive Network	时延敏感网络
VR	Virtual Reality	虚拟现实

致谢

目前业界对于未来 6G 的底层候选技术、网络特征和目标愿景都处于热烈的自由探讨中。联通 6G 研究团队在前期研究中，与东南大学、电子科技大学、清华大学、北京交通大学、上海交通大学、中兴通讯等众多业界前沿研究团队开展了广泛交流讨论，相关专家贡献了很多宝贵建议，并提出了很多令人耳目一新的观点和思路，对本白皮书成型助益良多，在此对上述研究团队和相关专家一并致谢。

6G 征程刚刚开启，未来 6G 发展需要行业产学研用各方力量凝心聚力，通力协作。6G 愿景可期，联通愿与行业伙伴一起携手并进，共创未来。